

ICS 75.020

E 13

备案号: 27475—2010

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5972—2009

代替 SY/T 5972—1994

钻机基础选型

Type selection for rig foundation

2009—12—01 发布

2010—05—01 实施

国家能源局 发布

目 次

| | |
|----------------------------|----|
| 前言 | II |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 钻机基础型式 | 2 |
| 5 基础型式选择 | 2 |
| 6 钻机基础布置 | 2 |
| 7 钻机基础保护 | 3 |
| 8 基础地基持力层要求 | 3 |
| 附录 A (资料性附录) 基础类型选择表 | 5 |
| 附录 B (资料性附录) 钻机基础计算 | 6 |

前 言

本标准修订并代替 SY/T 5972—1994《钻机基础选型与计算》。

本标准与 SY/T 5972—1994 相比，主要变化如下：

- 修订了标准的名称；
- 修订了地基承载力和现浇基础的计算方法，并作为资料性附录；
- 删除了井架锚拉基础；
- 增加了术语和定义；
- 增加了基础类型选择表，并作为资料性附录；
- 增加了桩基础计算要求，并作为资料性附录。

本标准的附录 A、附录 B 为资料性附录。

本标准由石油钻井工程专业标准化委员会提出并归口。

本标准起草单位：胜利石油管理局黄河钻井总公司钻前公司。

本标准主要起草人：艾光富、黄梅玲、张传忠、刘冠俊、高月臣、盖涛、曹脉。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- SY/T 5972—1994。

钻机基础选型

1 范围

本标准规定了陆上石油钻机基础的选型和计算方法。

本标准适用于陆上石油钻机的井架底座、机泵房及循环系统的基础设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 5007 建筑地基基础设计规范

SY/T 5025 钻井和修井井架、底座规范

3 术语和定义

GB 5007 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

地基 subsoil

承受基础的土体或岩石。

3.2

软弱土 soft soil

淤泥、淤泥质土和部分冲填土、杂填土及其他高压缩性土。

3.3

持力层 supporting layer

直接承受基础载荷的土层。

3.4

地基承载力 subgrade bearing capacity

地基承受载荷的能力。

3.5

地基处理 ground treatment

为提高地基土的承载力，改善其变形性质或渗透性质而采取的人工方法。

3.6

钻机基础 rig foundation

承受钻机载荷并将其传递至地基的构筑物。

3.7

活动基础 pre-fabricated foundation

预先制作好并能多次重复使用的钻机基础。

3.8

现浇基础 foundation grouted in site

在现场浇筑的一次性使用的水泥混凝土钻机基础。

3.9

桩基础 pile foundation

由设置于岩土中的桩和连接于桩顶端的承台组成的基础。

4 钻机基础型式

钻机基础型式包括：

- a) 活动基础：
 - 1) 钢筋混凝土基础；
 - 2) 钢管排基础；
 - 3) 钢木基础；
 - 4) 条石基础；
 - 5) 木方基础。
- b) 现浇基础：
 - 1) 毛石灌浆基础；
 - 2) 素混凝土基础；
 - 3) 钢筋混凝土基础。
- c) 桩基础：
 - 1) 灌注桩基础；
 - 2) 预制桩基础。
- d) 混合基础：以上基础型式的组合。

5 基础型式选择

5.1 基础选型应综合考虑下列因素：

- a) 钻机类型、井别、井型、井深及建井周期。
- b) 设备重量及设备安装工艺要求。
- c) 地基承载能力。
- d) 当地气候、施工条件与基础原材料等影响。

5.2 在土质相对均匀、稳定，且挖方地层，优先选用活动基础。

5.3 在土质相对软弱，且流动性较强的地层，应选用现浇基础或桩基础。

5.4 基础选型应遵循就地取材，综合成本最低的原则。在一般情况下基础优先选择顺序为：活动基础—现浇基础—桩基础。根据地基承载力与钻机钻探能力的不同，可参照附录 A 合理选用基础型式。

5.5 基础型式的选择必须确保钻机安全生产的需求，基础的结构及计算方法参照附录 B。

6 钻机基础布置

6.1 对称布置钻机基础，力求使设备抗力作用中心、设备和基础质量中心、基础底面几何形心位于同一铅直面上。

6.2 活动基础应布置在与设备底座纵梁垂直方向上；整体运移的钻机基础可布置在与设备底座纵梁平行的方向上。

6.3 所有井场设备基础顶面应位于同一水平面上；对于井场设备有特殊安装要求时，也可设计不同的设备基础水平面。

6.4 钻机基础顶面高出地面不小于 100mm；对于整体运移的钻机基础顶面须低于地面（0～50）mm。

6.5 设备底座边缘至基础边缘距离不小于 300mm。

6.6 预留钻井鼠洞及排水沟位置。

6.7 钻机基础宜设置在挖方区。

7 钻机基础保护

7.1 沙漠、海滩、沼泽、地表裂缝多、表层串漏严重的地区等特殊地质条件的井位，应考虑打导管、冲鼠洞、钻表层等作业对基础稳定性的影响。

7.2 钻井井场应设置良好的排水系统或抗滑桩，避免雨水浸泡或渗入基础底部，造成基础不均匀沉降或滑移。

7.3 基础采用大开挖施工方案时，对土质场地，基坑放坡坡度不大于 1:1；对岩质场地，基坑放坡坡度不大于 1:0.2。现场施工操作时必须结合岩土层的实际情况确定放坡坡度。

8 基础地基持力层要求

8.1 确定基础地基持力层的条件

确定基础地基持力层，应按下列条件确定：

- a) 基础的型式和构造。
- b) 作用在地基上的载荷及其性质。
- c) 工程地质和水文地质条件。
- d) 地基土冻胀和融陷的影响。

8.2 确定基础地基持力层的要求

8.2.1 在满足地基稳定和变形要求前提下，钻机基础应尽量浅埋。

8.2.2 上层地层承载力大于下层时，宜利用上层土作持力层。

8.2.3 活动基础，当表层地基承载力满足设计要求时，钻机基础可以平置或浅埋摆放在持力层上。对于湖区、水网地区，地表有淤泥、植耕浮土较浅的，应对淤泥浮土清除或处理后将钻机基础摆放在满足承载力设计要求的持力层上。

8.2.4 利用软弱土层作持力层时，应满足下列情况：

- a) 淤泥和淤泥质土，宜利用其上覆较好土层作为持力层；当上覆土层较薄，应采取避免施工时对淤泥和淤泥质土扰动的措施。
- b) 充填土、建筑垃圾和性能稳定的工业废料，当均匀性和密实度较好时，均可利用作为持力层。
- c) 对于有机含量较多的生活垃圾和对基础有侵蚀性的工业废料等杂填土，未经处理不宜作为持力层。

8.2.5 局部软弱土层以及暗塘、暗沟等，可采用基础梁、换土、桩基或其他方法处理。

8.2.6 现浇基础在满足地基稳定和变形要求的前提下，基础宜浅埋；当上层地基土的承载力大于下层土时，宜利用上层土作持力层。

8.2.7 土特性均匀统一未经扰动的稳定土层，且承载力特征值不小于 150kPa 时，可直接作为钻机基础的持力层。

8.2.8 当地基承载力或变形不能满足设计要求时，地基处理可选用机械压（夯）实、垫层、打桩等方法，进行地基加固处理，处理后的地基承载力应通过试验确定。

8.2.9 基础宜埋置在地下水位以上，当必须埋置在地下水位以下时，应采取地基土在施工时不受扰动的措施。

8.2.10 当建井周期短且不跨越冻土融化期时，可不考虑地基的冻胀性，将基础直接放置在冻土表层上；否则须按 GB 5007 规定计算基础的最小埋深。

8.2.11 在冻胀、强冻胀地基上，按 GB 5007 规定采取防冻害措施。

8.2.12 钻机基础可根据实际情况选用不同持力层，当同一设备基础地基土在水平方向上不均匀时，应根据状态、性状等差异进行相应的地基处理。

附 录 A
(资料性附录)
基础类型选择表

基础类型选择见表 A. 1。

表 A. 1 基础类型选择表

| 钻探能力 m | 地基承载力 kPa | | |
|-----------|--------------|--------|--------|
| | <80 | 80~150 | >150 |
| ≤4500 | 现浇基础 | 活动基础优先 | 活动基础 |
| >4500 | 桩基础 | 现浇基础 | 活动基础优先 |

附 录 B
(资料性附录)
钻机基础计算

B.1 地基承载力计算

B.1.1 地基土承载力特征值可由载荷试验或其他原位测试、公式计算，并结合工程实践经验等方法综合确定。

B.1.2 当基础宽度大于 3m 或埋置深度大于 0.5m 时，地基承载力特征值应按式 (B.1) 进行修正：

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma (b - 3) + \eta_d \gamma_0 (d - 0.5) \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

f_a ——修正后的地基承载力特征值，单位为千帕 (kPa)；

f_{ak} ——地基承载力特征值，单位为千帕 (kPa)；

η_b, η_d ——基础宽度和埋深的地基承载力修正系数，按基底下土的类别查表 B.1 取值；

γ ——基础底面以下土的重度，地下水位以下取浮重度，单位为千牛每立方米 (kN/m³)；

b ——基础底面宽度，当基宽小于 3m 时按 3m 取值，大于 6m 时按 6m 取值，单位为米 (m)；

γ_0 ——基础底面以上土的平均重度，地下水位以下取浮重度，单位为千牛每立方米 (kN/m³)；

d ——基础埋置深度，单位为米 (m)。

表 B.1 承载力修正系数

| 土 的 类 别 | | η_b | η_d |
|--|--|----------|----------|
| 淤泥和淤泥质土 | | 0 | 1.0 |
| 人工填土 孔隙比 e 或液性指数 $I_L \geq 0.85$ 的黏性土 | | 0 | 1.0 |
| 红黏土 | 含水比 $a_w > 0.8$ | 0 | 1.2 |
| | 含水比 $a_w \leq 0.8$ | 0.15 | 1.4 |
| 大面积压实填土 | 压实系数 > 0.95 、黏粒含量 $\rho_c \geq 10\%$ 的粉土 | 0 | 1.5 |
| | 最大干密度 $> 2.1 \text{ t/m}^3$ 的级配砂石 | 0 | 2.0 |
| 粉土 | 黏粒含量 $\rho_c \geq 10\%$ 的粉土 | 0.3 | 1.5 |
| | 黏粒含量 $\rho_c < 10\%$ 的粉土 | 0.5 | 2.0 |
| 孔隙比 e 或液性指数 I_L 均小于 0.85 的黏性土 | | 0.3 | 1.6 |
| 粉砂、细砂 (不包括很湿与饱和时的稍密状态) | | 2.0 | 3.0 |
| 中砂、粗砂、砾砂和碎石土 | | 3.0 | 4.4 |

B.2 钻机基础载荷与载荷组合

B.2.1 按承载能力极限状态设计钻机基础，并取作用效应的基本组合为载荷设计组合，即恒载与活载荷组合，要求取其全部且只考虑单向活载荷。

B.2.2 井架基础强度计算时，应考虑下列载荷：

- a) 恒载：井架、底座及安装在其上面的设备、工具自重、钻台满立根且最大套管悬持工况下的载荷及绷绳载荷；
- b) 活载荷：钻机最大钩载；风载，按 SY/T 5025 计算；
- c) 钻机动力附加系数。

B.2.3 动力机房和钻井泵基础强度计算时，可不考虑传动活载荷，只计恒载，即设备和基础自重。

B.3 现浇基础计算

B.3.1 基础构造。

B.3.1.1 基础垫层厚度不宜小于 70mm，垫层混凝土强度等级应为 C10。

B.3.1.2 基础受力钢筋最小直径不宜小于 10mm；间距应为 (100~200) mm；箍筋直径不小于 8mm，间距不大于 300mm。

B.3.1.3 基础钢筋保护层厚度不小于 40mm。

B.3.1.4 混凝土强度等级不应低于 C20，表面砂浆强度等级不应低于 M5。

B.3.1.5 滩海、沙漠、山区等特殊地基，钻机基础混凝土强度等级均采用 C30。

B.3.2 计算基础底面积。

B.3.2.1 基础埋置深度、基础高度，应符合第 8 章规定。

B.3.2.2 按 B.1 确定作用于基础顶面的竖向力设计值。

B.3.2.3 按式 (B.2) 计算基础底面积：

$$A \geq \frac{k \cdot N}{f_a - \gamma_o \cdot d} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

A ——基础底面面积，单位为平方米 (m²)；

k ——钻机动力附加系数，一般取 1.1~1.3；

N ——作用于基础顶面上的竖向力设计值，单位为千牛 (kN)；

f_a ——修正后的地基承载力特征值，单位为千帕 (kPa)；

γ_o ——基础底面以上土的平均重度，地下水位以下取浮重度，单位为千牛每立方米 (kN/m³)；

d ——基础埋置深度，单位为米 (m)。

B.3.3 计算基础底面压力。

轴心载荷作用下，基础底面的压力可按式 (B.3) 确定：

$$p_k = \frac{N + G_k}{A} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

p_k ——相应于载荷效应标准组合时，基础底面处的平均压力值，单位为千帕 (kPa)；

N ——作用于基础顶面上的竖向力设计值，单位为千牛 (kN)；

G_k ——基础自重和基础上的土重，单位为千牛 (kN)；

A ——基础底面面积，单位为平方米 (m²)。

B.3.4 轴心载荷作用下，基础底面的压力应符合式 (B.4) 要求：

$$p_k \leq f_a \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

p_k ——相应于载荷效应标准组合时，基础底面处的平均压力值，单位为千帕 (kPa)；

f_a ——修正后的地基承载力特征值，单位为千帕（kPa）。

B.3.5 对于一般稳定性地基或当钻机建井周期较短时，可不进行地基变形和稳定性验算；对于特殊地基（软弱地层、湿陷性黄土地基等）按 GB 5007 进行验算。

B.3.6 当地基受力层范围内有软弱下卧层时，按 GB 5007 进行承载力验算，满足 B.3.4 的要求，否则，需重新确定基础宽度，并进行验算，直至满足要求。

B.4 活动基础计算

B.4.1 基础构造

B.4.1.1 基础厚度不应小于 100mm，当厚度大于 700mm 时，宜用变厚度截面基础，其坡度不大于 1:3。

B.4.1.2 基础端部应向外伸出设备外缘，其长度不宜小于 200mm。

B.4.1.3 钢筋混凝土基础顶部和底部的纵向受力钢筋宜通长配筋，间距不宜大于 300mm。其最小直径不宜小于 10mm，最小配筋百分率宜为 0.20%；基础截面的四角须设有纵向受力钢筋，并沿截面周边对称布置。受力钢筋接头位置应互相错开，接头搭接长度为钢筋直径的 40 倍~50 倍。通常采用双面焊接，焊接长度为钢筋直径的 5 倍，并且在同一截面接头不能超过 25%。

B.4.1.4 在采用绑扎骨架的钢筋混凝土基础中，承受剪力的钢筋，宜优先采用箍筋。要求沿基础全长设置箍筋，其直径不宜小于 8mm，间距宜为（200~300）mm，且箍筋形式为封闭式。箍筋末端应做成不小于 135°的弯钩，弯钩端头平直段长度不应小于箍筋直径的 5 倍或 50mm。

B.4.1.5 当设置弯起钢筋时，弯终点外应留有锚固长度，其长度宜为钢筋直径的 10 倍~20 倍；对光面钢筋，其末端应设置弯钩；弯起钢筋的弯起角取 45°或 60°。

B.4.1.6 在基础两侧，沿其高度每隔（100~150）mm，应设置直径不小于 10mm 的纵向构造筋。

B.4.1.7 受力钢筋的混凝土保护层最小厚度（从钢筋外缘算起）为 45mm；箍筋和构造钢筋的保护层厚度不应小于 15mm。

B.4.1.8 混凝土强度等级宜为 C20~C25；采用 HPB235 或 HRB335 钢筋。

B.4.2 基础计算

B.4.2.1 根据设备底座的外形尺寸及吊装运输条件，初选条形基础的底面尺寸。条形基础宽度不宜大于 1.2m，长度不宜大于 6m。

B.4.2.2 按第 8 章规定，初选基础高度，其高度宜为（300~500）mm。

B.4.2.3 所需基础底面面积由式（B.5）确定：

$$A \geq \frac{k \cdot N}{f_a} \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

式中：

A ——基础底面面积，单位为平方米（m²）；

N ——作用于基础顶面上的竖向力设计值，单位为千牛（kN）；

k ——钻机动力附加系数，对于井架基础取 1.2；对于机泵房基础取 1.0；

f_a ——修正后的地基承载力特征值，单位为千帕（kPa）。

B.4.2.4 所需条形基础布置数量，由式（B.6）确定：

$$n \geq \frac{A}{A'} \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

式中：

n ——预制基础数量；

A ——基础底面面积，单位为平方米（ m^2 ）；

A' ——单个预制基础的底面积，单位为平方米（ m^2 ）。

B.4.2.5 基础底面压力按 B.3.3 计算。

B.4.2.6 轴心载荷作用下，基础底面的压力符合 B.3.4 要求。

B.4.2.7 预制基础本身强度应满足基础的承载力设计要求。轴心受压时基础本身强度应符合式（B.7）要求：

$$Q_s \leq A_s f_s \quad \dots\dots\dots (\text{B.7})$$

式中：

Q_s ——相应于载荷效应基本组合时的单块基础竖向力设计值，单位为千牛（ kN ）；

A_s ——单块基础顶部受压面积，单位为平方米（ m^2 ）；

f_s ——预制基础横向抗压强度设计值，单位为千帕（ kPa ）。

B.4.2.8 其他材质基础本身的抗压强度不应低于 30MPa 。

B.5 桩基础计算

B.5.1 桩和桩基的构造

B.5.1.1 摩擦型桩的中心距不宜小于桩身直径的 3 倍；扩底灌注桩的中心距不宜小于扩底直径的 1.5 倍，当扩底直径大于 2m 时，桩端净距不宜小于 1m 。在确定桩距时尚应考虑施工工艺中挤土等效应对邻近桩的影响。

B.5.1.2 扩底灌注桩的扩底直径，不应大于桩身直径的 3 倍。

B.5.1.3 桩底进入持力层的深度，根据地质条件、载荷及施工工艺确定，宜为桩身直径的 1 倍～3 倍。在确定桩底进入持力层深度时，尚应考虑特殊土、岩溶以及震陷液化等影响。嵌岩灌注桩周边嵌入完整和较完整的未风化、微风化、中风化硬质岩体的最小深度，不宜小于 0.5m 。

B.5.1.4 布置桩位时宜使桩基承载力合力点与竖向永久载荷合力作用点重合。

B.5.1.5 预制桩的混凝土强度等级不应低于 C30；灌注桩不应低于 C20；预应力桩不应低于 C40。

B.5.1.6 桩的主筋应经计算确定。打入式预制桩的最小配筋率不宜小于 0.8% ；静压预制桩的最小配筋率不宜小于 0.6% ；灌注桩最小配筋率不宜小于 $0.2\% \sim 0.65\%$ （小直径桩取大值）。

B.5.2 桩基础计算

B.5.2.1 群桩中单桩桩顶轴心竖向力应按式（B.8）计算：

$$Q_k = \frac{F_k + G_k}{n} \quad \dots\dots\dots (\text{B.8})$$

式中：

Q_k ——相应于载荷效应标准组合轴心竖向力作用下任一单桩的竖向力，单位为千牛（ kN ）；

F_k ——相应于载荷效应标准组合时，作用于桩基承台顶面的竖向力，单位为千牛（ kN ）；

G_k ——桩基承台自重及承台上土自重标准值，单位为千牛（ kN ）；

n ——桩基中的桩数。

B.5.2.2 轴心竖向力作用下，单桩承载力计算应符合式（B.9）：

$$Q_k \leq R_a \quad \dots\dots\dots (\text{B.9})$$

式中：

Q_k ——相应于载荷效应标准组合轴心竖向力作用下任一单桩的竖向力，单位为千牛（ kN ）；

R_a ——单桩竖向承载力特征值，单位为千牛（ kN ）。

B.5.2.3 单桩竖向承载力特征值应通过单桩竖向静载荷试验确定。在同一条件下的试桩数量，不宜少于总桩数的1%，且不应少于3根。

B.5.2.4 初步设计时单桩竖向承载力特征值可按式(B.10)估算：

$$R_a = q_{pa}A_p + u_p \sum q_{sia}l_i \quad \dots\dots\dots (B.10)$$

式中：

R_a ——单桩竖向承载力特征值，单位为千牛(kN)；

q_{pa} 、 q_{sia} ——桩端端阻力、桩侧力特征值，由当地静载荷试验结果统计分析算得；

A_p ——桩横截面面积，单位为平方米(m^2)；

u_p ——桩身周边长度，单位为米(m)；

l_i ——第*i*层岩土厚度，单位为米(m)。

B.5.2.5 当桩端嵌入完整及较完整的硬质岩中时，可按式(B.11)估算单桩竖向承载力特征值：

$$R_a = q_{pa}A_p \quad \dots\dots\dots (B.11)$$

式中：

R_a ——单桩竖向承载力特征值，单位为千牛(kN)；

q_{pa} ——桩端端阻力特征值，单位为千牛每平方米(kN/m^2)；

A_p ——桩横截面面积，单位为平方米(m^2)。

B.5.2.6 桩身混凝土强度应满足桩的承载力设计要求。轴心受压时桩身强度应符合式(B.12)要求：

$$Q \leq A_p \cdot f_c \cdot \psi_c \quad \dots\dots\dots (B.12)$$

式中：

Q ——相应于荷载效应基本组合时的单桩竖向力设计值，单位为千牛(kN)；

A_p ——桩横截面面积，单位为平方米(m^2)；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

ψ_c ——工作条件系数，预制桩取0.75，灌注桩取0.6~0.7(水下灌注桩或长桩时用低值)。

B.5.2.7 桩基设计时，应结合地区经验考虑桩、土、承台的共同作用。

B.5.2.8 桩基承台的构造，除满足抗冲切、抗剪切、抗弯承载力和上部结构的要求外，尚应符合下列要求：

- a) 承台的宽度不应小于500mm。边桩中心至承台边缘的距离不宜小于桩的直径或边长，且桩的外边缘至承台边缘的距离不小于150mm。
- b) 承台的最小厚度不应小于300mm。
- c) 承台的配筋，对于矩形承台其钢筋应按双向均匀通长布置，钢筋直径不宜小于10mm，间距不宜大于200mm。
- d) 承台混凝土强度等级不应低于C20，纵向钢筋的混凝土保护层厚度不应小于70mm，当有混凝土垫层时，不应小于40mm。